

# 水利工程隧洞开挖技术探讨

毛新功

新疆银通建设监理有限公司 新疆 奎屯 833200

**摘要:** 本文深入探讨水利工程隧洞开挖技术,详细剖析钻孔爆破法、掘进机法、盾构法及顶管法的原理、施工流程与特点。结合地质条件、工程规模、施工环境、工期和成本等因素,阐述不同技术的应用场景与选择依据。通过综合分析,旨在为水利工程隧洞建设提供科学合理的技术决策参考,提升工程建设的效率、质量与安全性。

**关键词:** 水利工程; 隧洞开挖; 技术

## 引言

水利工程在国家基础设施建设中至关重要,隧洞作为其关键构成部分,承担着引水、泄洪等重要功能。隧洞开挖技术直接关系到工程的成败。随着水利事业的发展,不同地质条件和复杂工程需求不断涌现,如何精准选择合适的开挖技术成为关键。本文聚焦于此,对多种开挖技术展开深入研究,力求为水利工程建设提供有力支撑。

## 1 水利工程隧洞开挖技术的概述

水利工程隧洞开挖技术,作为水利建设的关键步骤,旨在地下精准构建满足设计要求的隧洞,服务于引水、泄洪等水利功能。技术多样,如钻孔爆破法,凭炸药破碎岩石,历经发展,已实现精细化爆破,适应多样岩石条件;掘进机法则以刀盘切削,机械化高效,适合长隧洞、大断面施工;盾构法针对软土或破碎岩层,有效控制土体变形与地下水;顶管法则适用于小型涵管施工,避免地面破坏。每种技术各具特色,选择时需综合考虑地质、规模、环境、工期、成本等因素,科学决策,确保水利工程隧洞建设的安全高效推进,满足水利需求,促进水利事业的持续发展。

## 2 水利工程隧洞开挖技术类型

### 2.1 钻孔爆破法

在掘进方式上,全断面掘进法适用于地质条件良好、断面较小的隧洞,施工速度快,但对设备和施工组织要求高。导洞法则先开挖小断面导洞,为后续扩挖提供地质信息和增加爆破自由面,降低爆破难度,适用于地质条件复杂或大断面隧洞。分部开挖法则针对稳定性差的围岩,分多次开挖并及时支护,确保施工安全。以奎屯河引水工程为例,其隧洞开发主要采用光面爆破法,这是钻孔爆破法中的一种精细化爆破技术。光面爆破法通过合理布置周边炮孔,严格控制装药量和起爆顺序,使爆破后的隧洞轮廓光滑平整,最大程度减少对围

岩的扰动。在奎屯河引水工程中,面对复杂的地质状况,光面爆破法充分发挥优势,有效保障了隧洞围岩的稳定性,减少了后续支护工作量,降低了施工成本。施工过程中,技术人员依据岩石特性和隧洞设计要求,精准确定炮孔间距、深度及装药量,采用毫秒延期雷管实现分段起爆,保证了爆破效果。该工程运用光面爆破法,不仅提高了开挖效率,还确保了隧洞成型质量,为工程的顺利推进奠定了坚实基础,成为水利工程隧洞开挖采用光面爆破法的成功范例。施工流程包括钻孔、装药、起爆、通风和出渣。钻孔需根据岩石特性和爆破设计确定炮孔参数;装药过程需严格控制药量和结构;起爆采用可靠系统确保预定顺序;通风排出有害气体;出渣则利用装载机、运输车等设备运出洞外。钻孔爆破法虽灵活性高,能适应各种地质条件,但安全风险不容忽视。爆破震动、飞石等可能对周边环境和人员造成危害,需采取严格的安全措施和监管机制,确保施工安全<sup>[1]</sup>。

### 2.2 掘进机法

(1)掘进机工作时,刀盘在强大的动力驱动下旋转,刀盘上安装的刀具与岩石接触。刀具通过挤压和滚切作用,对岩石施加集中载荷。当载荷超过岩石的强度极限,岩石发生破碎。随着刀盘的持续转动,破碎的岩石不断被切削下来。(2)掘进机设备类型多样,按刀盘结构可分为盘形滚刀刀盘、齿刀刀盘等。盘形滚刀刀盘适用于硬岩,通过滚刀的滚动挤压破碎岩石;齿刀刀盘常用于软岩或破碎岩体,利用齿刀的切削作用进行开挖。驱动方式有电力驱动、液压驱动等,电力驱动具有清洁、高效的特点,液压驱动则能提供更大的扭矩。(3)在应用案例中,如某长距离引水隧洞,岩石为中硬花岗岩,采用掘进机施工,平均月进尺可达300米以上,开挖面光滑平整,围岩稳定性好。但在遇到断层破碎带等复杂地质时,掘进机掘进效率明显下降,甚至可能出现刀具磨损严重、设备故障等问题。其优势在于高效,

能实现连续作业,大大缩短工期;开挖面平整,有利于后续支护和衬砌;对围岩扰动小,保障了隧洞的稳定性。然而,设备购置成本高昂,且对地质条件变化的适应性有限。

### 2.3 盾构法

(1) 盾构法施工时,盾构机依靠盾体保护前方作业空间,同时利用推进系统将盾构机向前推进。刀盘在盾构机前端旋转切削土体,切削下来的土体通过螺旋输送机等设备排出。在盾构机尾部,同步进行预制混凝土衬砌的安装,衬砌与盾体紧密贴合,形成稳定的支护结构。(2) 盾构机主要由刀盘、盾体、推进系统、排土系统、衬砌安装系统等组成。刀盘负责土体开挖,其结构和刀具配置根据不同地质条件进行设计。盾体为内部作业人员和设备提供安全空间,并传递推进力。推进系统由多组千斤顶组成,控制盾构机的推进速度和方向。

(3) 盾构法适用于软土、砂层、破碎岩层等地质条件。在城市水利隧洞建设中,为避免对地面建筑和交通的影响,常采用盾构法。如某城市过江水利隧洞,穿越深厚的淤泥质土层,采用盾构法顺利完成施工,有效控制了地面沉降和地下水渗漏<sup>[2]</sup>。

### 2.4 顶管法

(1) 顶管法施工工艺利用千斤顶等顶进设备,将预制好的钢筋混凝土管或钢管从工作坑顶入土层。在顶进过程中,通过在管内挖掘土体并运出,使管道不断前进。管道之间通过特殊的接口连接,确保密封性和整体性。(2) 主要用于小型涵管、地下管道等工程。在城市供排水管道铺设、穿越道路或建筑物下方的涵管施工中应用广泛。其技术优势显著,施工时无需大面积开挖地面,对周边环境和交通影响小。但施工过程中方向控制难度较大,需精确测量和调整顶进方向;管道接口的处理也至关重要,接口质量直接影响管道的密封性和使用寿命。

## 3 不同开挖技术在水利工程中的应用

### 3.1 地质条件对技术选择的影响

地质条件是水利工程隧洞开挖技术选择的核心依据。在坚硬岩石地层中,若岩石硬度适中且完整性良好,钻孔爆破法凭借炸药爆炸能量破碎岩石,通过科学设计炮孔参数与起爆顺序,能高效开挖并保障围岩稳定;但当岩石硬度极高,如石英岩地层,掘进机法依靠强大推力与扭矩驱动盘形滚刀,连续稳定作业,避免爆破法诸多弊端,确保开挖面平整度与隧洞成型质量。在软土地层,黏土可塑性与流动性强,盾构法利用密封舱平衡土压力,推进时同步切削土体、安装衬砌,有效控

制地面沉降;而砂土这类颗粒性软土地层,小型管径施工顶管法以简单施工过程、小周边土体扰动占优,大直径隧洞则靠盾构法合理配置刀盘刀具与排土系统适应特性。至于断层、节理发育的破碎岩层,因岩体稳定性差,常采用分部开挖法结合超前支护,先小范围开挖并施作锚杆、喷射混凝土等加固,钻孔爆破法也需严格控制参数,采用微差、预裂爆破等降低震动破坏,确保施工安全。

### 3.2 工程规模与技术匹配

工程规模是决定水利工程隧洞开挖技术的关键要素。对于小型水利工程隧洞,因其断面尺寸小、长度短,钻孔爆破法或人工配合小型机械开挖较为适宜。钻孔爆破法凭借简单的设备与灵活的操作,施工人员能依照隧洞实际尺寸与地质状况,巧妙布置炮孔、精准控制爆破范围,像山区小型灌溉隧洞,断面仅数平方米,长度在几百米以内,采用人工手持风钻钻孔,搭配小型装载机出渣,成本低廉且施工便捷。若对爆破振动控制要求严苛,人工配合小型机械开挖更具优势,小型挖掘机、运输车辆可在狭窄空间施展身手,经人工精细操作,保障开挖精度,减少对周边环境的影响,例如靠近古建筑的小型水利隧洞施工,此方式有效避免了爆破对古建筑的潜在危害。而大型水利工程隧洞,面临高水头、大流量的严苛要求,对尺寸与稳定性极为看重,掘进机法和盾构法应用更为普遍。长距离、大断面的引水隧洞,掘进机法可充分发挥高效连续作业的长处,快速完成开挖任务,某大型跨流域调水工程的引水隧洞,直径数米、长度数十公里,运用大型掘进机施工,月进尺可达数百米,极大地缩短了工程建设周期。在城市大型水利隧洞或过江过河隧洞工程中,盾构法因其出色的防水性以及对周边环境的低影响性而备受青睐,盾构机在地下推进时同步安装衬砌,构建起坚固的防水结构,有效杜绝地下水渗漏,施工过程对地面交通和建筑物的影响微乎其微<sup>[3]</sup>。

### 3.3 施工环境与技术应用

施工环境在水利工程隧洞开挖技术的选择中起着举足轻重的作用。在人口密集区,噪音与粉尘控制成为关键考量因素,盾构法和顶管法优势尽显。盾构机在地下封闭空间内作业,将噪音与粉尘有效隔绝于地下,其出土与排渣系统对渣土集中处理,大大减少了粉尘飞扬。而顶管法主要在工作坑内开展施工,地面作业量极少,搭配密封设备和降尘措施,能将噪音和粉尘控制在极低水平。比如城市中心区域的供排水隧洞施工,采用顶管法时,周边居民几乎不受施工影响,有力保障了城市的

正常运转。反观山区,复杂的地形和不便的交通给隧洞施工带来极大挑战。钻孔爆破法因设备轻便、易于运输和组装,在山区得到广泛应用。施工设备可借助简易道路或临时便道运抵施工现场,施工人员能够依据山区地形特点,灵活选择钻孔位置、制定爆破方案。像山区水利发电工程中,隧洞需穿越陡峭山体,钻孔爆破法通过合理的施工组织安排,实现了高效开挖。在交通极为不便的区域,人工配合小型机械开挖可作为有效补充。施工人员携带小型工具,在狭窄的山间小道艰难抵达施工地点,逐步开展开挖工作,这种方式虽然速度较慢,但灵活性与适应性极高,能很好地契合山区复杂的施工环境。

### 3.4 工期要求与技术选择

工期要求对水利工程隧洞开挖技术的选择有着决定性影响。当工期紧张时,必须采用能够实现快速掘进的技术,掘进机法和盾构法便成为首选。掘进机在适宜的地质条件下,每日掘进速度可达数十米。例如某大型水利枢纽的引水隧洞工程,为确保整体工程进度,采用掘进机施工。通过优化设备配置,合理安排施工组织,充分发挥其连续作业的优势,实现快速掘进,提前完成开挖任务,为后续工程的推进争取了宝贵时间。盾构法在软土地层中表现出色,土方开挖、排土以及衬砌安装同步进行,施工速度快且质量稳定。在城市水利应急工程中,为尽快恢复供水或排水功能,盾构法能够快速完成隧洞施工,有力保障城市的正常运转。而当工期宽松时,成本优先的技术更符合工程需求。钻孔爆破法设备投入和运营成本较低,虽然施工速度相对较慢,但通过合理安排施工人员与设备,优化施工流程,在保证工程质量的前提下,能够充分发挥其成本效益。像一些小型水利工程,由于工期要求不高,采用钻孔爆破法,精确控制炸药用量,合理规划施工时间,有效降低了工程成本。人工配合小型机械开挖在工期宽松时也是一种经济选择,尽管人工成本相对较高,但其设备购置和维护成本低,适用于工程量小、工期要求不严格的隧洞工程,能够很好地控制成本<sup>[4]</sup>。

### 3.5 成本控制与技术决策

在水利工程隧洞建设中,成本控制与技术决策紧密相连。不同开挖技术在成本构成上差异显著。从设备购

置成本看,钻孔爆破法主要设备如凿岩机、装载机等价格相对亲民,小型水利工程或资金有限项目易于负担;掘进机法设备结构复杂、技术含量高,大型掘进机购置成本可达数千万元甚至更高;盾构法因盾构机定制化程度高,依据地质与工程要求设计制造,费用同样不菲。材料消耗方面,钻孔爆破法主要消耗炸药、雷管等,岩石条件复杂时炸药用量攀升,钻孔过程中钻头耗材也有损耗;掘进机法主要损耗刀具,在硬岩地层刀具磨损快,更换频繁致成本上升,不过无需爆破材料;盾构法除刀具消耗外,预制混凝土衬砌管片的制作、运输成本高,且地质条件特殊时管片需特殊设计加工,进一步推高成本。人工成本上,钻孔爆破法需大量人员进行钻孔、装药等危险作业,对人员技能要求高,人工费用随之增加;掘进机法和盾构法机械化程度高,所需人员少,但对操作人员技术与专业素养要求高,培训成本一定程度上增加人工成本。综合成本效益评估需兼顾设备购置、材料消耗、人工、工期及工程质量成本等。可采用全生命周期成本法,计算项目从规划到运营维护全过程成本,并结合供水、发电等工程效益分析;也可运用价值工程分析法,对不同技术方案进行功能与成本剖析,寻求最佳匹配,为技术选择提供科学依据。

### 结束语

综上所述,水利工程隧洞开挖技术丰富多样,各有优劣。在实际工程中,需全面考量地质、规模、环境、工期及成本等要素,科学抉择开挖技术。随着科技进步,开挖技术也在不断革新。未来应持续探索新技术、优化现有技术,提升隧洞开挖的效率与质量,推动水利事业迈向新高度。

### 参考文献

- [1]沈爱锋.水利工程隧洞开挖施工技术的探讨[J].建材发展导向,2023,21(4):175-177.
- [2]邹玉永.水利工程隧洞开挖施工技术探讨[J].工程技术研究,2024,6(1):186-188.
- [3]杨孟楚.水利工程隧洞开挖施工技术的探讨[J].工程管理与技术探讨,2024,6(21).
- [4]周响.水利工程隧洞开挖技术施工工艺探析[J].建筑与装饰,2024(2):174-176.